

DIALOG(R)File 345:Inpadoc/Fam.& Legal Stat

(c) 2003 EPO. All rts. reserv.

12290096

Basic Patent (No,Kind,Date): JP 6138061 A2 940520 <No. of Patents: 006>

METHOD FOR MEASURING CONCENTRATION DISTRIBUTION OF TRACE ELEMENT (English  
)

Patent Assignee: FUJITSU LTD

Author (Inventor): KATAOKA YUJI

IPC: \*G01N-023/225;

CA Abstract No: \*121(14)169259U; 121(14)169259U

Derwent WPI Acc No: \*G 95-142703; G 95-292571

JAPIO Reference No: \*180436P000105; 180436P000105

Language of Document: Japanese

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applic No	Kind	Date	
JP 6138061	A2	940520	JP 92285783	A	921023	(BASIC)
JP 7066258	A2	950310	JP 93209658	A	930824	
JP 2962073	B2	991012	JP 92285783	A	921023	
US 5442174	A	950815	US 137766	A	931019	
US 5502305	A	960326	US 444875	A	950519	
US 5521377	A	960528	US 445098	A	950519	

Priority Data (No,Kind,Date):

JP 92285783 A 921023  
JP 93209658 XX 930824  
JP 93209658 A 930824  
US 444875 A 950519  
US 137766 A3 931019  
US 445098 A 950519

DIALOG(R)File 347:JAPIO

(c) 2003 JPO & JAPIO. All rts. reserv.

04773658    \*\*Image available\*\*

METHOD FOR EVALUATION OF CARRIER IN SEMICONDUCTOR AND REFERENCE SAMPLE  
FORMING METHOD

PUB. NO.:        07-066258 [JP 7066258 A]

PUBLISHED:      March 10, 1995 (19950310)

INVENTOR(s):    KATAOKA YUJI

                 TODA YOKO

APPLICANT(s):   FUJITSU LTD [000522] (A Japanese Company or Corporation), JP (Japan)

APPL. NO.:      05-209658 [JP 93209658]

FILED:           August 24, 1993 (19930824)

INTL CLASS:     [6] H01L-021/66

JAPIO CLASS:    42.2 (ELECTRONICS -- Solid State Components); 46.2  
                 (INSTRUMENTATION -- Testing)

JAPIO KEYWORD: R100 (ELECTRONIC MATERIALS -- Ion Implantation)

#### ABSTRACT

PURPOSE: To improve both accuracy in measurement of carrier density distribution and depth resolution in the method for manufacture of the reference sample used for the method of evaluation of the carrier density in a semiconductor and the activation rate by the measurement of the intensity of secondary ions.

CONSTITUTION: Primary ions are made to irradiate on the surface of the first semiconductor 3 on which conductive impurities are introduced under the condition wherein electrification is generated on the surface, the intensity of secondary ions, having specific energy and discharged from the surface, is measured successively as the time of irradiation of primary ions elapses. By the carrier density corresponding to the intensity of secondary ions and the etching amount of the first semiconductor 3 corresponding to the irradiation time of the primary ions, the carrier density distribution in depth direction of the first semiconductor 3 can be obtained.

特開平7-66258

(43) 公開日 平成7年(1995)3月10日

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>

H01L 21/66

識別記号

M 7630-4M

Y 7630-4M

F I

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全9頁)

(21) 出願番号 特願平5-209658

(22) 出願日 平成5年(1993)8月24日

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

(72) 発明者 片岡 祐治

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

富士通株式会社内

(72) 発明者 戸田 陽子

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

富士通株式会社内

(74) 代理人 弁理士 岡本 啓三

(54) 【発明の名称】 半導体中のキャリアの評価方法及び標準試料の作成方法

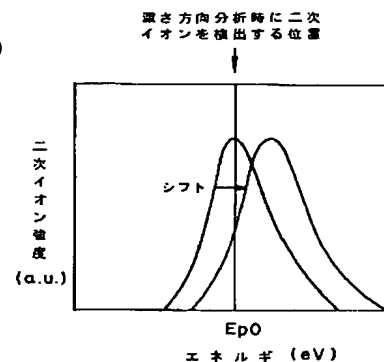
(57) 【要約】

【目的】 本発明は、二次イオンの強度の測定により半導体、例えば半導体中のキャリア濃度及び活性化率を評価する方法及びこの方法に用いられる標準試料の作成方法に関し、キャリア濃度分布の測定精度の向上及び深さ分解能の向上を図ることができる半導体中のキャリアの評価方法及び標準試料の作成方法を提供する。

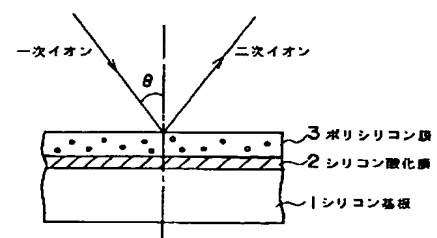
【構成】 導電型不純物が導入された第1の半導体3の表面に、該表面に帯電が起こるような条件で一次イオンを照射し、表面から放出される、特定のエネルギーを有する二次イオンの強度を一次イオンの照射時間の経過に従って順次測定して、二次イオンの強度に相当するキャリア濃度と一次イオンの照射時間に対応する第1の半導体3のエッチング量とにより、第1の半導体3中の深さ方向のキャリア濃度分布を取得することを含み構成する。

本発明の実施例に係るキャリア濃度の測定方法  
についての説明図

(a)



(b)



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 導電型不純物が導入された第 1 の半導体の表面に、該表面に帯電が起こるような条件で一次イオンを照射し、前記表面から放出される、特定のエネルギーを有する二次イオンの強度を前記一次イオンの照射時間の経過に従って順次測定して、前記二次イオンの強度に相当するキャリア濃度と前記一次イオンの照射時間に対応する前記第 1 の半導体のエッチング量とにより、前記第 1 の半導体中の深さ方向のキャリア濃度分布を取得することを特徴とする半導体中のキャリアの評価方法。

【請求項 2】 前記第 1 の半導体は絶縁体上に形成された半導体であることを特徴とする請求項 1 記載の半導体中のキャリアの評価方法。

【請求項 3】 前記一次イオンの入射角度は前記第 1 の半導体表面の法線方向に対して 30 度以下であることを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 記載の半導体中のキャリアの評価方法。

【請求項 4】 前記第 1 の半導体中に導電型不純物が導入された条件と同じ条件で導電型不純物が導入された第 2 の半導体の表面に、該表面に帯電が起こらないような条件で一次イオンを照射し、前記表面から放出される二次イオンの強度を測定することにより、該第 2 の半導体中の深さ方向の導電型不純物濃度分布を取得し、該第 2 の半導体中の導電型不純物濃度分布と、前記第 1 の半導体中のキャリア濃度分布とを用いて活性化率を取得することを特徴とする請求項 1 乃至請求項 3 のいずれかに記載の半導体中のキャリアの評価方法。

【請求項 5】 前記一次イオンの入射角度は前記第 2 の半導体表面の法線方向に対して 30° 以上 40° 以下の範囲であることを特徴とする請求項 4 記載の半導体中のキャリアの評価方法。

【請求項 6】 導電型不純物が導入された半導体への一次イオンの照射により該半導体から放出される二次イオンの強度を前記導電型不純物の濃度に換算するために用いられる標準試料の作成方法において、前記標準試料となる半導体に予め導電型不純物を導入して前記半導体の抵抗率を下げた状態で、前記半導体に既知量の導電型不純物を導入することを特徴とする標準試料の作成方法。

【請求項 7】 前記標準試料となる半導体に予め導入された導電型不純物は、前記既知量の導電型不純物の濃度よりも濃度が低いか、又は前記既知量の導電型不純物と異なる導電型不純物であることを特徴とする請求項 6 記載の標準試料の作成方法。

【請求項 8】 前記標準試料となる半導体は絶縁体上に形成された半導体であることを特徴とする請求項 6 又は請求項 7 記載の標準試料の作成方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【 0 0 0 1 】

【産業上の利用分野】 本発明は、半導体中のキャリアの

評価方法及び標準試料の作成方法に関し、更に詳しく言えば、二次イオンの強度の測定により半導体、例えば半導体中のキャリア濃度及び活性化率を評価する方法及びこの方法に用いられる標準試料の作成方法に関する。

## 【 0 0 0 2 】

【従来の技術】 半導体装置の製造において、III 族のボロン (B) や V 族のリン (P) などの導電型不純物をイオン注入やガス拡散等により半導体基板に導入し、p 型層や n 型層等を形成してトランジスタ等を形成する。このとき、所定の特性を得るために、キャリア濃度分布を制御することが必要になる。しかし、導電型不純物の導入方法や熱処理条件等によって導電型不純物の濃度分布や活性化率が異なってくるため、キャリアの濃度分布を正確に把握することが重要になる。

【 0 0 0 3 】 現在、半導体中のキャリア濃度分布の評価方法として、広がり抵抗法 (Spreading Resistance Analysis: SRA) が一般的に用いられている。広がり抵抗法は、図 10 に示すように、斜め研磨を施した試料に 2 本又は 4 本のプローブを接触させて抵抗値を測定し、標準試料の抵抗値と既知のキャリア濃度との対応関係から、試料の抵抗値をキャリア濃度に変換する方法である。更に、深さ方向の濃度分布を求めるには、プローブを研磨面上で順次深さ方向に移動して、深さに対応する抵抗値を測定する。

## 【 0 0 0 4 】

【発明が解決しようとする課題】 しかし、上記従来例に係る広がり抵抗法では、測定される抵抗値は被測定体の結晶面方位によって影響を受けるため、被測定体が多結晶である場合、測定された抵抗値に数 % の誤差を生じる。また、深さ分解能は斜め研磨の精度により影響を受ける。従って、深さ分解能は 10 nm 程度であり、その向上が望まれている。

【 0 0 0 5 】 更に、導電型不純物量を測定する方法として二次イオン質量分析法 (Secondary Ion Mass Spectrometry: SIMS) がある。その測定方法の概略は被測定体に一次イオンとして例えば酸素イオンをぶつけることにより被測定体から飛びだしてくる二次イオンの強度を測定し、既知の導電型不純物量を有する標準試料の二次イオンの強度とその既知の導電型不純物量との関係から、被測定体の導電型不純物量を特定するものである。しかし、この方法では標準試料に帯電が生じた場合、換算された導電型不純物量に誤差が生じ、ひいては測定されるべき導電型不純物量にも誤差を生じる。また、導電型不純物濃度分布は測定することができるが、キャリア濃度分布は測定できなかった。

【 0 0 0 6 】 本発明は、係る従来例の課題に鑑みて創作されたものであり、キャリア濃度分布の測定精度の向上及び深さ分解能の向上を図ることができる半導体中のキャリアの評価方法及び標準試料の作成方法を提供することにある。

## 【 0 0 0 7 】

【課題を解決するための手段】上記問題点は、第 1 に、導電型不純物が導入された第 1 の半導体の表面に、該表面に帯電が起こるような条件で一次イオンを照射し、前記表面から放出される、特定のエネルギーを有する二次イオンの強度を前記一次イオンの照射時間の経過に従って順次測定して、前記二次イオンの強度に相当するキャリア濃度と前記一次イオンの照射時間に対応する前記第 1 の半導体のエッチング量とにより、前記第 1 の半導体中の深さ方向のキャリア濃度分布を取得することを特徴とする半導体中のキャリアの評価方法により達成され、第 2 に、前記第 1 の半導体中に導電型不純物が導入された条件と同じ条件で導電型不純物が導入された第 2 の半導体の表面に、該表面に帯電が起こらないような条件で一次イオンを照射し、前記表面から放出される二次イオンの強度を測定することにより、該第 2 の半導体中の深さ方向の導電型不純物濃度分布を取得し、該第 2 の半導体中の導電型不純物濃度分布と、前記第 1 の半導体中のキャリア濃度分布とを用いて活性化率を取得することを特徴とする半導体中のキャリアの評価方法により達成され、第 3 に、導電型不純物が導入された半導体への一次イオンの照射により該半導体から放出される二次イオンの強度をキャリア濃度又は導電型不純物濃度に換算するために用いられる標準試料の作成方法において、前記標準試料となる半導体に予め導電型不純物を導入して前記半導体の抵抗率を下げた状態で、前記半導体に既知量の導電型不純物を導入することを特徴とする標準試料の作成方法により達成される。

## 【 0 0 0 8 】

【作 用】本発明に係る半導体のキャリアの評価方法においては、半導体の表面に帯電が起こるような条件で半導体の表面に一次イオンを照射し、半導体から飛び出してくる特定のエネルギーを有する二次イオンの強度を一次イオンの照射時間の経過に従って順次測定して、二次イオンの強度に相当するキャリア濃度と一次イオンの照射時間に対応する第 1 の半導体のエッチング量とにより、第 1 の半導体中の深さ方向のキャリア濃度分布を取得している。

【 0 0 0 9 】本発明の場合、特に、半導体表面の帯電量が半導体表面の抵抗率、即ち半導体表面のキャリア濃度に依存することを利用している。即ち、半導体表面が帯電する条件で一次イオンの照射を行い、特定のエネルギーを有する二次イオン強度を測定する。いま、測定された二次イオン強度のエネルギー分布は、帯電量に依存して、高エネルギー側又は低エネルギー側にシフトする。このため、半導体表面のキャリア濃度と二次イオン強度のエネルギー分布のシフト量との間には特定の相関関係が生じることになる。エネルギー分布のシフトにより二次イオン強度のエネルギー分布の形状は殆ど影響を受けないため、特定のエネルギーを有する二次イオンの強度を測定するこ

とにより、キャリア濃度に対応する二次イオンの強度が測定される。

【 0 0 1 0 】従って、一次イオンの照射時間の経過に従って測定された二次イオンの強度をキャリア濃度に変換することにより、半導体中の深さ方向のキャリア濃度分布が得られる。また、深さ方向の位置だしに、一次イオンの照射によるエッチング量を用いているので、従来のような研磨法を用いている広がり抵抗法と比べて、精度がよい。

【 0 0 1 1 】更に、二次イオン強度からキャリア濃度への変換には既知量の導電型不純物濃度を有する標準試料が用いられる。このとき、標準試料が帯電しているため二次イオン強度のエネルギー分布がシフトしている場合、特定のエネルギーを有する二次イオンの強度を測定すると、換算されたキャリア濃度に誤差が生じる。従って、標準試料に帯電が生じないようにする必要がある。

【 0 0 1 2 】本発明の標準試料の作成方法においては、既知量の導電型不純物を標準試料となる半導体に導入する前に、予め、別の導電型不純物を導入して標準試料となる半導体の抵抗率を下げている。従って、標準試料となる半導体に導入される既知量の導電型不純物の濃度が低い場合であっても、一次イオンの照射時に帯電が生じないため、二次イオンの強度が精度良く測定され、従って標準試料中の既知量の導電型不純物濃度が精度良く取得される。

## 【 0 0 1 3 】

【実施例】次に、図面を参照しながら、本発明の実施例について説明をする。

( 1 ) 本発明の実施例に係る標準試料の作成方法の説明

## ( i ) 実験の説明

図 6 ( b ) ~ ( d ) は、帯電実験に用いる実験試料の作成方法について説明する断面図である。

【 0 0 1 4 】図 6 ( b ) は Si 基板 1 1 上に熱酸化により膜厚 5 0 n m のシリコン酸化膜 1 2 が形成され、更にシリコン酸化膜 1 2 上に膜厚 4 0 0 n m のポリシリコン膜 1 3 が形成された後の状態を示す。なお、この基体ではポリシリコン膜 1 3 が絶縁されており、特にポリシリコン膜 1 3 に帯電が生じやすい構成となっている。上記の基体を 6 枚用意する。そして、図 6 ( c ) に示すように、6 枚の基体にそれぞれ次のような条件でイオン注入し、6 種類の実験試料を作成する。

【 0 0 1 5 】( a ) 導電型不純物 ( プリ注入元素 ) ボロン ( B ) , ドーズ量  $1 \times 10^{12}$  ,  $1 \times 10^{13}$  ,  $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$  の 3 種類の条件

( b ) 導電型不純物 ( プリ注入元素 ) リン ( p ) , ドーズ量  $1 \times 10^{12}$  ,  $1 \times 10^{13}$  ,  $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$  の 3 種類の条件  
続いて、窒素雰囲気中、図 6 ( d ) に示すように、温度 9 0 0 ° C で 6 0 分間、各基体を加熱処理し、注入された導電型不純物を活性化する。これにより、実験試料が完成する。

【0016】次いで、上記実験試料のうち一つの試料を図9に示す二次イオン質量分析装置にセットする。続いて、図7(b)に示すように、一次イオンとして酸素を用い、実験試料の表面に照射する。このとき、実験試料の表面から種々のエネルギーを有する導電型不純物の二次イオンが飛びだすが、試料ステージに印加するオフセット電圧を調整することにより、検出されるべき二次イオンのエネルギーを変化させる。これにより、種々のエネルギーを有する二次イオンを順次測定する。そして、図7

(a)に示すような二次イオンの強度のエネルギー分布を取得する。このとき、帯電していない試料から出てくる二次イオン強度のピークの位置のエネルギー(以下、ピークエネルギーと称する。)  $E_{p0}$  を零とし、これを基準として各実験試料のピークエネルギーを測定する。結果を図6(a)のグラフに示す。

【0017】その結果によれば、プリ注入元素がボロンの場合、ドーズ量  $1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ 、 $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$  で、それぞれ図7(a)に示すような1.5 eV程度のピークエネルギー  $E_{p1}$  のシフトがある。これに対してドーズ量  $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$  でピークエネルギー  $E_{p0}$  が零になる。一方、プリ注入元素がリンの場合、いずれのドーズ量でも、ピークエネルギーが零にならない。即ち、実験試料は常に帯電しており、リンは予め注入される導電型不純物としては不適当であることがわかる。

【0018】従って、標準試料には予め  $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$  程度或いはそれ以上のドーズ量でボロンを導入しておくことが必要である。

(ii) 本発明の実施例に係るキャリア濃度の評価に用いられる標準試料の作成方法についての説明

次に、本発明の実施例に係る標準試料の作成方法、及び標準試料を用いて二次イオンの強度から導電型不純物濃度に変換する方法について説明する。

【0019】まず、図6(b)～(d)と同様な方法で、予めボロン(プリ注入元素)が  $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  (ドーズ量に換算してほぼ  $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$  に相当する)程度導入されたポリシリコン膜13aを有する基体を作成する(図5(a)～(c))。次に、被測定体に導入すべき

ボロンのイオン注入条件(ドーズ量及び加速エネルギー)と同じイオン注入条件で前記基体にボロンをイオン注入する。これにより、図5(d)に示すように、ポリシリコン膜13bに既知量のボロンが導入された標準試料の作成が完了する。

【0020】次いで、標準試料を図9に示す二次イオン質量分析装置にセットする。測定する前に予め、帯電していない試料から放出される二次イオン強度のピークエネルギー  $E_{p0}$  に試料ステージの電圧を調整する。続いて、一次イオンとして酸素を用い、標準試料の表面に照射する。このとき、標準試料の表面から種々のエネルギーを有する二次イオンが飛びだすが、試料ステージへの電圧印加により、特定のエネルギー  $E_{p0}$  を有する二次イオンのみ

検出される。一定時間の経過の後、その二次イオンの強度を測定する。このような測定方法により、一次イオンの照射時間の経過に従って二次イオンの強度を順次測定する。このとき、標準試料は予めボロンが導入されて抵抗率が下がっているため、測定中に帯電が生じない。従って、二次イオン強度のエネルギー分布のシフトが生じないので、全ての測定時点で二次イオン強度分布のピーク値が測定される。

【0021】次に、横軸に照射時間に相当するエッチング量、縦軸に二次イオンの強度をプロットする。これにより、深さ方向の二次イオンの強度  $I_s(x)$  の分布が得られる。次いで、得られたグラフに基づき、

$$\phi = A \cdot \int I_s(x) dx \cdots (1)$$

ここで、 $\phi$ : 全ドーズ量 = ドーズ量  $\times$  ドーズ時間

A: 比例係数

上記の式(1)より比例係数Aが得られる。

【0022】この比例係数Aを用いて、被測定体について測定された二次イオン強度  $I(x)$  により、

$$N(x) = A \cdot I(x) \cdots (2)$$

(2)式を用いて、ある深さxでのキャリアや導電型不純物の濃度  $N(x)$  が得られる。従って、照射時間の経過に従って測定された  $I(x)$  について全て換算すれば、深さ方向のキャリアや導電型不純物の濃度分布が求まる。

【0023】以上のように、本発明の標準試料の作成方法によれば、既知量のボロンをポリシリコン膜13に導入する前に、予め、ボロンを導入してポリシリコン膜13aの抵抗率を下げているので、既知量のボロンをポリシリコン膜13aに導入した後、二次イオンの強度測定時に、ポリシリコン膜13bには帯電が生じない。このため、二次イオン強度のエネルギー分布のシフトが生じないので、全ての測定時点で二次イオン強度のピーク値を測定することができる。

【0024】また、予め導入されるボロンの濃度を測定すべき既知量のボロン濃度よりも少なく導入することにより、予め導入されるボロン濃度の影響を受けることなく、測定すべき既知量のボロン濃度を測定することができる。従って、精度のよい比例係数Aが取得され、ひいては被測定体について深さ方向のキャリアや導電型不純物の濃度分布を精度良く取得することができる。

【0025】なお、予め導入される導電型不純物としてボロンを用いているが、測定すべき既知量の導電型不純物と異なる導電型不純物を用いることもできる。

(iii) 比較例

図8(b)、(c)は比較例に係る標準試料の作成方法について説明する断面図で、標準試料には不純物としてフッ素( $^19\text{F}$ )が導入されている。但し、上記の本発明の実施例の標準試料と異なり、ポリシリコン膜中には予め導電型不純物が導入されず、抵抗率が高い状態で、フッ素( $^19\text{F}$ )が導入されている。

【0026】図8(a)に、この標準試料中のフッ素(

<sup>19</sup>F) の濃度分布について、二次イオン質量分析法により測定された結果を示す。図 8 (a) ではポリシリコン膜 2 3 及びシリコン酸化膜 2 2 中のフッ素濃度が真の濃度分布に比較して高い値になっている。これは、標準試料が帯電しているために、図 7 (a) に示すように、二次イオン強度のエネルギー分布がシフトし、誤差が生じたためと考えられる。

【0027】 (2) 本発明の実施例に係る半導体中のキャリア濃度分布の測定方法の説明

図 1 (b) は、本発明の実施例に係るキャリア濃度の評価に用いられる被測定体について説明する断面図である。まず、Si 基板 1 上に熱酸化により膜厚 50 nm のシリコン酸化膜 2 を形成した後、シリコン酸化膜 2 上に膜厚 400 nm のポリシリコン膜 3 を形成する。なお、この基体はポリシリコン膜 3 が絶縁されており、特にポリシリコン膜 3 に帯電が生じやすい構成となっている。

【0028】 次いで、ポリシリコン膜 3 にイオン注入により、ドーズ量  $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$  の条件で導電型不純物としてボロン (B) を導入する。次に、窒素雰囲気中、温度 900℃ で 60 分間、各試料を加熱処理し、注入された導電型不純物を活性化する。これにより、被測定体が完成する。次いで、上記被測定体を図 9 に示す二次イオン質量分析装置にセットする。測定する前に予め、帯電していない試料から放出される二次イオン強度のピークエネルギー  $E_{p0}$  に試料ステージの電圧を調整する。

【0029】 続いて、一次イオンとして酸素を用い、全ての測定時点においてポリシリコン膜 3 の表面に帯電が生ずる条件、即ちポリシリコン膜 3 の表面の法線方向に対して入射角度  $\theta = 22^\circ$  でポリシリコン膜 3 の表面に照射する。これにより、ポリシリコン膜 3 の表面から種々のエネルギーを有するボロンの二次イオンが飛び出す。試料ステージへの電圧印加により、特定のエネルギー  $E_{p0}$  を有する二次イオンのみ検出される。所定の時間 (t) の後、その二次イオンの強度  $I(t)$  を測定する。

【0030】 いま、帯電が生ずる条件、即ち入射角度  $\theta = 22^\circ$  で一次イオンを照射しているので、ポリシリコン膜 3 はキャリア濃度に依存して帯電する。そして、その帯電量に依存して、図 1 (a) に示すように、二次イオン強度  $I(t)$  のエネルギー分布は高エネルギー側又は低エネルギー側にシフトする。このとき、エネルギー分布のシフトによりエネルギー分布の形状は殆ど影響を受けず、かつ特定のエネルギー  $E_{p0}$  を有する二次イオンのみを検出しているため、キャリア濃度に対応する二次イオンの強度  $I(t)$  が測定される。

【0031】 このような測定方法により、照射時間の経過に従って二次イオンの強度  $I(t)$  を順次測定する。結果を図 2 (a) のグラフに示す。横軸が照射時間、縦軸が二次イオン強度となっている。一連の二次イオンの強度  $I(t)$  を測定した後、照射時間に対応するエッチング量を導出し、深さに対応する二次イオンの強度  $I(x)$  を

取得する。

【0032】 次いで、上記の標準試料により予め求められた比例係数 A を用いて、式 (2) により、測定された二次イオンの強度  $I(x)$  をキャリア濃度  $C(x)$  に変換する。これにより、図 2 (a) に相当する深さ方向のキャリア濃度分布が取得される。なお、同じ被測定体について広がり抵抗法により求めたキャリア濃度分布を図 3 に示す。より微細な濃度の分布の取得が可能となる。

【0033】 以上のように、本発明の実施例のキャリア濃度分布の測定方法においては、特定の入射角度で一次イオンを照射することによりポリシリコン膜 3 が帯電すること、及びキャリア濃度とポリシリコン膜 3 の帯電量とが依存関係を有することを利用して、キャリア濃度と二次イオン強度のエネルギー分布のシフト量との間に相関をもたせている。いま、エネルギー分布のシフトにより二次イオン強度のエネルギー分布の形状は殆ど影響を受けないため、特定のエネルギーを有する二次イオンの強度を測定することにより、キャリア濃度に対応する二次イオンの強度が測定される。

【0034】 従って、一次イオンの照射時間の経過に従って測定された二次イオンの強度をキャリア濃度に変換することにより、ポリシリコン膜 3 中の深さ方向のキャリア濃度分布が得られる。また、深さ方向の位置だけに、一次イオンの照射によるエッチング量を用いているので、従来のような研磨法を用いている広がり抵抗法と比べて、精度がよい。

【0035】 なお、上記の実施例では、ポリシリコン膜 3 の表面に帯電が生ずる条件、即ちポリシリコン膜 3 の表面の法線方向に対して入射角度  $\theta = 22^\circ$  で試料の表面に一次イオンを照射しているが、試料の表面に帯電が生ずる条件として  $30^\circ$  以下の入射角度  $\theta$  とすることができ。また、ポリシリコン膜 3 の下地のシリコン酸化膜 2 の膜厚を 50 nm としているが、図に示すように、適当な膜厚とすることもできる。図 4 は導電型不純物のイオン注入前のシリコン酸化膜 2 上のポリシリコン膜 3 の二次イオン質量分析結果を示す図で、シリコン酸化膜 2 の膜厚に対するピークエネルギーの依存性を示す。従って、シリコン酸化膜 2 の膜厚により感度の調整を行うことができる。

【0036】 (3) 本発明の実施例に係る半導体中の導電型不純物の活性化率の評価方法の説明

図 2 (b) は、図 1 (b) に示す試料と同じ条件で作成された試料について、ポリシリコン膜 3 の表面に帯電が起こらないような条件、例えば入射角度  $\theta = 37^\circ$  にして上記と同様にして二次イオンの強度を測定したものである。但し、横軸は一次イオンの照射時間を示す。図 2 (a) の横軸の照射時間と一致していないが、入射角度によりエッチング量が異なる為である。

【0037】 ところで、ポリシリコン膜 3 に帯電が生じない条件で一次イオンを照射しているので、二次イオン

の強度のエネルギー分布のシフトが生じない。従って、常に二次イオンの強度のピーク値が測定されるため、その二次イオンの強度はポリシリコン膜 3 中のボロン量に対応する。図 2 (b) に示すように、ポリシリコン膜 3 中ではボロンはほぼ一定の濃度で分布していることがわかる。標準試料を用いてこの二次イオンの強度をボロンの濃度に変換すると深さ方向の濃度分布が得られる。

【0038】図 2 (a) に示すキャリア濃度と図 2 (b) に示すボロン濃度とを同じ深さで比較することにより活性化率を評価することができる。

【0039】

【発明の効果】以上説明したように、本発明に係る半導体のキャリアの評価方法においては、特定の入射角度で一次イオンを照射することによりポリシリコン膜 3 が帯電すること、及びキャリア濃度とポリシリコン膜 3 の帯電量とが依存関係を有することを利用して、キャリア濃度と二次イオン強度のエネルギー分布のシフト量との間に相関をもたせている。

【0040】従って、一次イオンの照射時間の経過に従って特定のエネルギーを有する二次イオンの強度を測定し、更にキャリア濃度に変換することにより、ポリシリコン膜中の深さ方向のキャリア濃度分布が得られる。また、深さ方向の位置だしに、一次イオンの照射によるエッチング量を用いているので、研磨法を用いている広がり抵抗法と比べて、精度がよい。

【0041】更に、本発明の標準試料の作成方法においては、既知量の導電型不純物を標準試料に導入する前に、予め、別の導電型不純物を導入して標準試料の基体の抵抗率を下げています。従って、標準試料に導入される

既知量の導電型不純物の濃度が低い場合でも、一次イオンの照射時に帯電が生じないため、二次イオンの強度が精度良く測定され、ひいては既知量の導電型不純物濃度が精度良く取得される。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の実施例に係るキャリア濃度の測定方法についての説明図である。

【図 2】本発明の実施例に係るキャリア及びボロンの濃度分布の測定結果を示す図である。

10 【図 3】本発明の比較例に係る広がり抵抗法によるキャリア濃度分布の測定結果を示す図である。

【図 4】本発明の実施例に係るピークエネルギーのシフト量と下地の酸化膜厚との関係を示す図である。

【図 5】本発明の実施例に係る標準試料の作成方法について説明する断面図である。

【図 6】本発明の実施例に係るピークエネルギーのシフト量と導電型不純物の注入量との関係を調べた測定結果についての説明図である。

20 【図 7】本発明の実施例に係る標準試料の導電型不純物の測定方法についての説明図である。

【図 8】本発明の比較例に係る標準試料の不純物濃度の測定結果についての説明図である。

【図 9】二次イオン質量分析装置の説明図である。

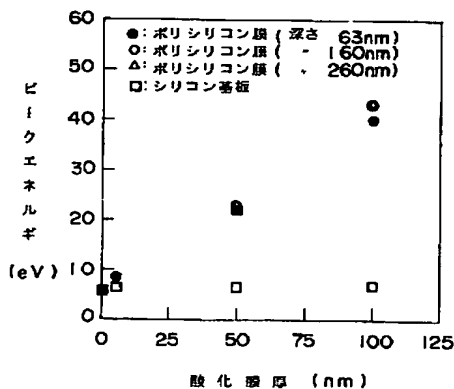
【図 10】従来例に係る広がり抵抗法について説明する斜視図である。

【符号の説明】

- 1, 11, 21 シリコン基板、
- 2, 12, 22 シリコン酸化膜、
- 3, 13, 13a, 13b, 23, 23a ポリシリコン膜。

【図 4】

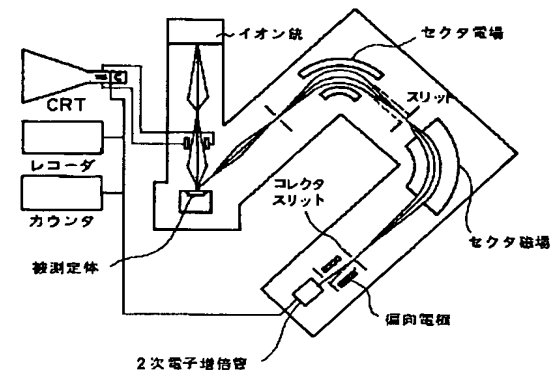
本発明の実施例に係るピークエネルギーのシフト量と下地の酸化膜厚との関係を示す図



【図 9】

二次イオン質量分析装置の説明図

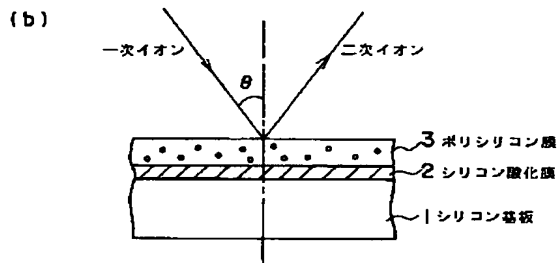
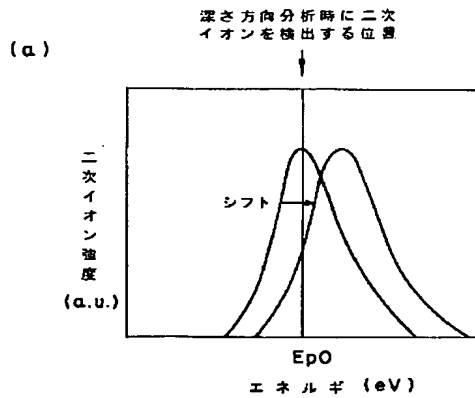
信号表示系 1 次イオン照射系 2 次イオン質量分析系





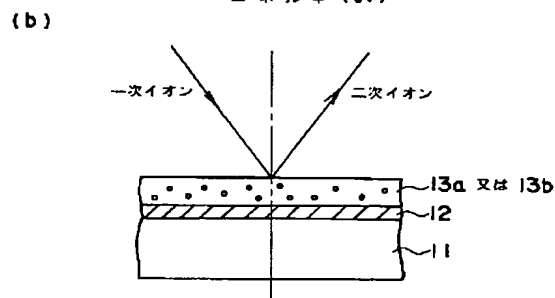
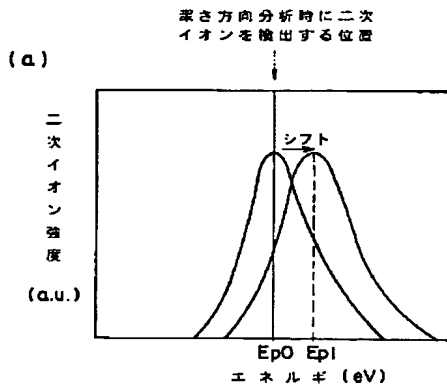
【図1】

本発明の実施例に係るキャリア濃度の測定方法  
についての説明図



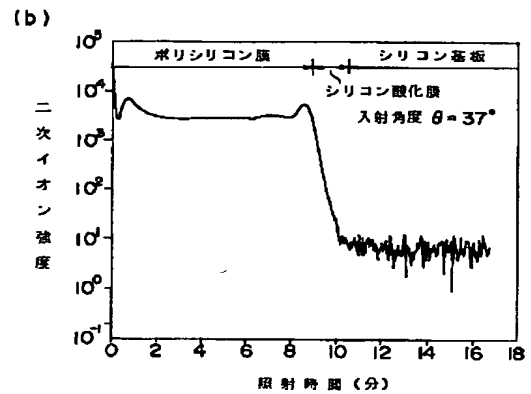
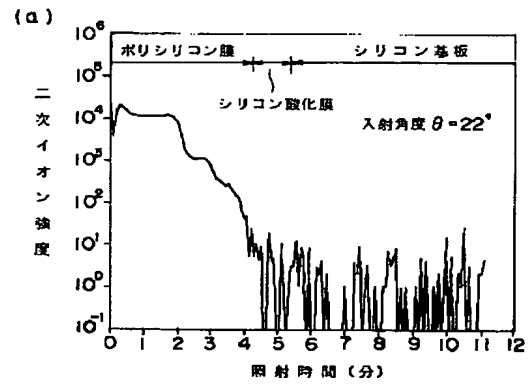
【図7】

本発明の実施例に係る標準試料の導電型  
不純物の測定方法についての説明図



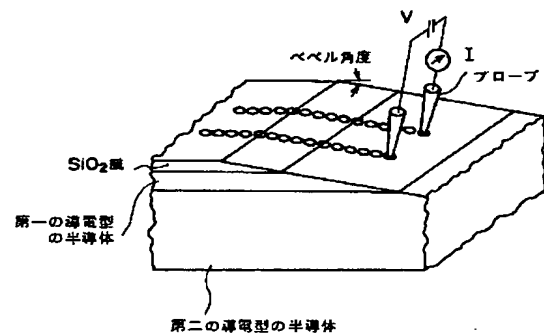
【図2】

本発明の実施例に係るキャリア及びボロン  
の濃度分布の測定結果を示す図



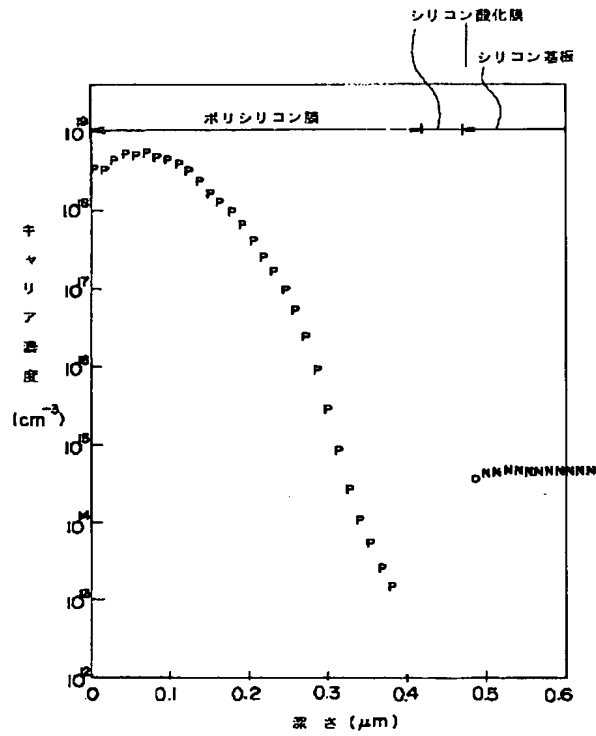
【図10】

従来例に係る広がり抵抗法について説明する斜視図



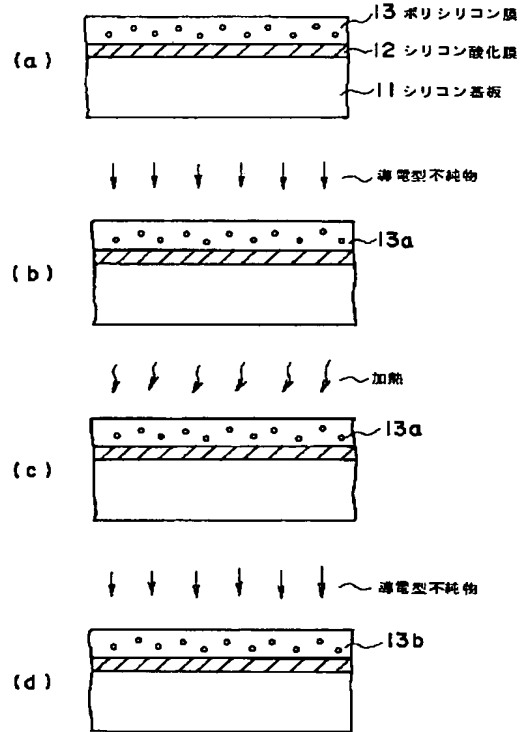
【図 3】

本発明の比較例に係る広がり抵抗法によるキャリア濃度分布の測定結果を示す図



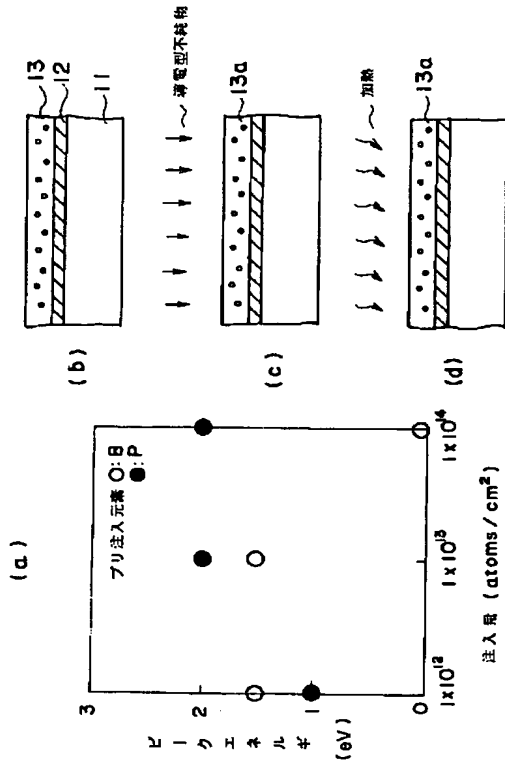
【図 5】

本発明の実施例に係る標準試料の作成方法について説明する断面図



【図 6】

本発明の実施例に係るピークエネルギーのシフト量と導電型不純物の注入量との関係調べた測定結果についての説明図



【図 8】

本発明の比較例に係る標準試料の不純物濃度の測定結果についての説明図

